

# تأثیر لیگنین بر تخریب کاغذ

ارائه یک الگوی پژوهشی

محمد رضا ارجمند

در سالهای اخیر روند فساد کاغذ شتاب فزاینده‌ای گرفته است. وجود این سرعت، به ویژه در مواد کتابخانه‌ای و بایگانیها، مبین این حقیقت است که فرآورده‌های کاغذی تولید شده بعد از دهه ۱۸۵۰، در معرض فساد و تجزیه بیشتری قرار دارند. شماری از مراکز، چاره کار را در انتقال اطلاعات بر روی میکروفیلم، میکروفیش و یا دیسکتهای رایانه‌ای یافته‌اند و برخی دیگر اسیدزدایی و بهره‌گیری از شیوه‌های پیشگیرانه، مانند استفاده از کاغذهای مایل به قلیایی و عاری از اسید را راه‌حل مورد توجه و اجرا قرار داده‌اند.

وظیفه دشوار نگهداری و صیانت از اسناد و آثار مکتوب ملی و تاریخی باعث ایجاد انگیزه‌های پژوهشی در زمینه یافتن راهبردهای بهینه برای حفظ و انتقال این آثار شده است تا امکان پژوهش و پویش برای آیندگان وجود داشته باشد. برای دستیابی به این هدف لازم است چهارچوبهای مشخصی را تعیین کرد تا مطالعه و بررسی فرآیند فساد و تأثیر عوامل مختلف ساختاری و محیطی را در شتاب بخشی بدانها ممکن سازد. هدف از این نوشته، ارائه یک الگوی پژوهشی برای دستیابی به میزان مطلوب استحکام و پایداری در کاغذ است.

ابتدا لازم است که تعریف مشخصی از موضوع تحقیق - یعنی ویژگیهای کاغذ پایدار - ارائه کنیم. براساس معیارهای تعریف شده، کاغذ پایدار کاغذی است که میل قلیایی داشته و حداقل دارای دو درصد کربنات کلسیم باشد تا به عنوان بافر (ذخیره قلیایی) در مقابل هیدرولیز اسیدی کاغذ مقاومت کند. براساس همین معیار، میزان لیگنین در کاغذ نباید از یک درصد تجاوز

کند. با بررسی نمونه‌های بسیاری از کاغذهای ماشینی که دارای پایداری کمتری در مقایسه با نمونه‌های دست‌ساز (در برابر عامل زمان) بوده‌اند، میزان مجاز لیگنین به دست آمده است و این واقعیت را به اثبات رسانده که ناپایداری کاغذهای ماشینی‌ساز به سبب اندازه غیر مجاز لیگنین در سلولز است که بسته به نوع و گونه چوب مصرفی گاه حتی تا ۲۵٪ برخی از انواع چوبها را تشکیل می‌دهد و پایداری و دوام کاغذ نیز حاصل بستگی یا گسستگی الیاف همین ماده است. کارخانه‌های کاغذسازی که بیشتر به تولید انبوه می‌انديشند، توجهی به اندازه مجاز لیگنین نکرده و برای سرعت بخشیدن به روند تولید، استفاده بی‌رویه از آن را در دستور کار قرار می‌دهند که در نهایت منجر به تولید انبوهی از کاغذهای نامرغوب و ناپایدار می‌شود. برخی از مراجع علمی نوین، فرضیه تأثیر لیگنین بر شتاب بخشی روند تجزیه و فساد کاغذ را مردود می‌دانند، اما یافته‌های این منابع برای اثبات ادعای آنها و نتیجه‌گیری نهایی از این فرضیات کفایت نمی‌کند. به همین منظور، بعد از ارائه فرضیه فوق، بسیاری از پژوهشگران بر آن شدند تا در این خصوص تحقیق کرده و نتایج به دست آمده را به عنوان اصول علمی قابل اعتماد ارائه دهند.

برای دستیابی به نتیجه درست‌تر، بر خلاف تحقیقات پیشین که هدف آنها مطالعه مقاومت فیزیکی کاغذ بود، برنامه تحقیقات باید تغییر در خواص و کیفیات شیمیایی را بررسی کند. این مطلب به ویژه بدین سبب حایز اهمیت است که فرآیند پژوهش به مکانیزم تجزیه اجزای سازنده کاغذ (به ویژه سلولز) می‌پردازد تا بتواند تأثیر عواملی نظیر رطوبت، درجه اسیدیت (PH) و... را نشان دهد.

## نمونه برداری (انتخاب نمونه کاغذ)

نمونه‌های کاغذهای انتخاب شده برای این بررسی باید انواع گسترده‌ای از کاغذهای دست‌ساز و ماشینی را شامل شود، تا انواع مختلف کاغذ (به لحاظ ساختاری) و درجات مختلف دوام را دربرگیرند. بدین وسیله می‌توان مقایسه انواع مختلف کاغذ را تعمیم بخشید و نتایج به دست آمده کاربردهای عملی مطلوبتری خواهد یافت. برای بررسی بهینه تأثیر عوامل محیطی و ساختاری بر روند تخریب کاغذ، روشهای مختلف تهیه و تولید کاغذ باید معیار و مبنای گزینش کاغذها قرار گیرد. کاغذهایی که تحت عنوان «کاغذهای دست‌ساز» شناخته می‌شوند، در یک دسته جداگانه قرار می‌گیرند. کاغذهای

کاغذ دست‌ساز - برای مطالعه آلودگیها و مقایسه آن با کاغذهای شاهد - در اتاقکهای ویژه این کار قرارداد و نتیجه را بررسی کرد.

### خواص استحکامی کاغذ

**استحکام الیاف:** این مطلب به اثبات رسیده است که استحکام کششی، استحکام پارگی و استحکام تاشدگی کاغذ معیارهای مناسبی برای مطالعه استحکام کاغذ به شمار می‌روند. این خواص ارتباط مستقیم با استحکام الیاف تشکیل دهنده کاغذ دارند. از آن جا که تجزیه سلولز به هنگام از دست دادن استحکام الیاف آن روی می‌دهد، تمام مراحل شتاب بخشی کهنگی (شرایط کهنگی مصنوعی) و بررسی استحکام الیاف می‌تواند با استفاده از آزمون Zero - span یا آزمونهای مشابه - که برخی از آنها در مطالعه الیاف منسوجات نیز کاربرد دارند - بررسی شود.

**استحکام در برابر پارگی:** استحکام کاغذ در برابر پارگی به عنوان کنش کاغذ در فرآیند چاپ و نگارش و نیز معیاری برای دوام کاغذ به شمار می‌رود. آزمون استحکام کاغذ در برابر پارگی نشان دهنده برخی از عوامل، مانند طول الیاف، استحکام الیاف و پیوندهای بین الیاف است.

**منحنی خستگی تنش (فشار) و کشش کاغذ:** یک برنامه تحقیقاتی بر روی کاغذ باید معیارها و مقادیر مربوط به خستگی کاغذ در برابر فشار و کشش را نیز شامل شود تا میزان مقاومت کششی، کشسانی برگ کاغذ، مقاومت در جذب انرژی و شکنندگی سنجیده شود. (راهنمای شکنندگی، مقیاسی است که اخیراً برای بررسی و مطالعه میل شکنندگی، ترک پذیری و موارد ایراد و فساد در صورت انتشار کاغذ، عرضه شده است).

**دوام در برابر تا خوردگی:** آزمون دوام در برابر تا خوردگی عبارت است از اندازه گیری میزان خرابی کاغذ در طول خط تا شده‌ای که به طور مرتب باز و بسته می‌شود. این آزمون اغلب اختیاری است، زیرا نتایج حاصل از آن بسیار گوناگون و متغیر است. با این حال، به نظر می‌رسد که این آزمون نیز باید در یک برنامه تحقیقاتی مربوط به دوام کاغذ گنجانده شود، زیرا با بررسی نتیجه آن می‌توان نتایج و آثار کهنگی شتابیده را مورد مطالعه قرار داد.

### ویژگیهای شیمیایی

لیگنین نامحلول در اسید (لیگنین کلاسون): کاغذهای تجاری و خمیرهای آماده شده برای ساخت کاغذهای غیر ماشینی باید

دست‌ساز از انواع مختلفی از خمیرهای خالص و بدون افزودنیهای دیگر ساخته می‌شوند. در ساخت برخی از آنها از ضایعات پارچه و یا قطعات کاغذ استفاده می‌شود که گاه تا دو درصد دارای کربنات کلسیم است، اما برخی اوقات نیز فاقد این مقدار است. از آن جا که هدف، مطالعه کاغذهای مورد استفاده در شرایط مختلف است، برای تعمیم نتایج تحقیق می‌توان کاغذهای تزئینی و نیز کاغذهای ساخته شده از سپیدار و یا چوبهای دیگر و یا کاغذهای ساخته شده به شیوه‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی را نیز بررسی کرد.

به علاوه، برای اطمینان از شمول نتیجه تحقیق بر همه موارد ساخت کاغذ، خارج از مقیاس آزمایشگاهی، باید کاغذهای تجاری به عنوان نماینده گروه کاغذهای موجود در بازار مصرف، به همان شیوه کاغذهای دست‌ساز بررسی شود. طبیعی است که باید در مورد این نمونه‌ها محدودیت اعمال شود تا در نهایت بتوان به خواص مورد نظر دست یافت.

### شرایط کهنگی

به عنوان مبنای پژوهش، می‌توان از استاندارد ارائه شده از جانب سازمان بین‌المللی تدوین استانداردها (ISO)، برای تعیین شرایط کهنگی شتابیده استفاده کرد. حرارت هشتاد درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۶۵٪، به عنوان مبنای کهنگی شتابیده پیشنهاد می‌شود. در چنین شرایطی، فرسودگی حاصل از ۷۵ سال محیط معمولی به پانزده روز کاهش می‌یابد. استفاده از شرایط شتاب بخشی به این دلیل است که در چنین شرایطی فرآیند تجزیه کاغذ تسریع شده و از طرفی اندازه گیری و محاسبه نیز امکانپذیر می‌شود. همچنین شرایط مصنوعی یادشده، نزدیک به شرایط واقعی محیط است. (شرایط واقعی براساس استاندارد ارائه شده از جانب ISO، ۲۳ درجه سانتیگراد و پنجاه درصد رطوبت نسبی است).

### آلودگیها

داده‌های مربوط به میزان آلاینده‌های محیط خارج از ساختمان (فضای باز) در بسیاری از نقاط، در دسترس پژوهشگران است، اما اطلاعات اندکی در خصوص آلاینده‌های داخل ساختمان موجود است و در این میان شاید به جرئت می‌توان گفت که تقریباً هیچ اطلاعاتی در مورد آلاینده‌های بایگانیها و کتابخانه‌ها وجود ندارد. بنابراین، می‌توان از آزمونهای مختلف صورت گرفته در اروپا موسوم به «پروژه استپ» به عنوان اطلاعات مبنای استفاده کرد و همزمان نیز تعدادی، مثلاً ۲۵۰ برگ

مورد آزمایش قرار گیرند تا میزان لیگنین کلاسون در آنها به درستی تعیین گردد. این آزمایش باید فقط بر روی مواد نو و قبل از انجام فرآیند کهنگی مصنوعی صورت پذیرد. از آن جا که هدف، بررسی لیگنین در کاغذ است، حتماً باید آزمون سنجش میزان لیگنین نامحلول در اسید نیز انجام شود، زیرا وجود لیگنین در بسیاری از کاغذها ناگزیر است.

**یونهای فلزی:** ثابت شده است که یونهای فلزی، مانند آهن و مس، می تواند باعث کاهش دوام کاغذ شود. بنابراین، انجام آزمون تجزیه کیفی یونهای فلزی نیز ضروری به نظر می رسد. (یونهای کلسیم و سدیم نیز باید مورد مطالعه قرار گیرد.) منظور از یونهای فلزی در این آزمون بررسی وجود آن در خمیر کاغذ است، زیرا مرکبها یا رنگهای مورد استفاده بر روی کاغذ می تواند منبع طبیعی وجود یونهای فلزی باشد.

**روش استحصال سرداسیدیتته:** همواره فرض بر این است که کاغذهای قلیایی در مقایسه با کاغذهای اسیدی دوام و پایداری بیشتری دارند، اما بسیاری از کاغذهای اسیدی نیز دارای دوام و استحکام مناسبی هستند و بسیاری از کاغذهای دست ساز قدیمی با وجود اسیدی بودن، در شرایط بسیار عالی بوده و خواص شیمیایی و فیزیکی مطلوبی دارند. (برای نمونه، می توان از کاغذهای قرن هفدهم و هیجدهم میلادی تولید شده در اروپا نام برد.) بنابراین، برای یافتن میزان دوام کاغذ باید به موارد مختلفی، مانند مقدار رطوبت و میزان مقاومت و دوام اولیه کاغذ نیز توجه داشت و نمی توان فقط به سنجش میزان اسیدیتته اکتفا کرد. با این حال، برنامه تحقیقاتی حتماً باید شامل سنجش میزان اسیدیتته یا درجه قلیایی کاغذ نیز باشد و به هنگام کهنگی شتابیده کاغذ، مقدار تأثیر آن را بر روند کهنگی از نظر دور نداشت.

ارزش اولیه اسید در کاغذ و نتایج حاصل از تغییر آن در نتیجه هیدرولیز اسید یا اکسیداسیون از موارد مهمی است که باید به یافتن آنها اقدام کرد.

**روش اسید سنجی اسکالان:** در شیوه اسیدسنجی اسکالان به جای استفاده از آب مقطر یا آب یون زدوده، از محلول آب و نمک برای سنجش درجه اسیدیتته استفاده می شود. از آن جا که دیواره الیاف در نتیجه تماس با آب نمک، اندکی متورم می شود، امکان استخراج گروههای اسید از بین دیواره الیاف امکانپذیر می شود و از آن جا که این شیوه با دقت و صحت بیشتری درجه اسیدیتته کاغذ را نشان می دهد، به عنوان یکی از شیوههای بهینه سنجش اسیدیتته کاغذ می توان آن را به کار گرفت.

**میزان کل اسید (درجه اکسیداسیون):** میزان کلی اسید موجود در هر نمونه کاغذ باید سنجیده شود. این گستره، اسیدهای قوی و ضعیف و نیز اسیدهای استری شده را شامل می شود. میزان کل اسید موجود در کاغذها قبل و بعد از فرآیند کهنگی مصنوعی، نشان دهنده درجه اکسیداسیون است. امتیاز این شیوه آن است که امکان سنجش جداگانه اسیدهای مختلف را نیز فراهم می سازد.

**ذخیره قلیایی (بافر):** معیارهای موجود، وجود حداقل دو درصد کربنات کلسیم در کاغذ را به عنوان بافر توصیه می کنند. کربنات کلسیم اسیدهای فرّار حاصل از تخریب کاغذ را خنثی کرده و میزان فرسودگی را کاهش می دهد. احتمالاً این ماده اسیدهای فرّار حاصل از محیط را نیز جذب کرده و قبل از این که باعث ایجاد آسیب در کاغذ شوند، خنثی می سازد. میزان تغییر بافر در خلال فرآیند کهنگی شتابیده، نشان دهنده فرآیند تخریب و تأثیرپذیری بافر است.

**درجه بسپارش (پلیمریزاسیون):** آزمونهای تعیین درجه بسپارش (DP)، برای تعیین دوام و پایداری کاغذ بسیار مفیدند، زیرا این آزمایشها، اطلاعاتی را درباره وزن مولکولی سلولز به دست می دهند. در مرحله آغازین کهنگی، تغییر اندکی در خواص فیزیکی کاغذ به وجود می آید، اگرچه تخریب در واحدهای الیاف بسیار شدید است. میزان تخریب در این مرحله بستگی به نوع کاغذ دارد و تعیین یک معیار خاص برای آن بسیار مشکل است. اما آنچه به استفاده کننده کاغذ مربوط می شود، دو مورد است: آهنگ تغییرات و ارزیابی سرعت تغییر.

هنگامی که تخریب صورت گرفته باشد یا مقاومت مکانیکی به سرعت کاهش یابد، روشن است که این ویژگی به ماهیت کاغذ برمی گردد و نشان دهنده عدم استحکام کاغذ است، اما تخریب الیاف می تواند در نتیجه مقاومت مکانیکی، هم از لحاظ افزایش ارزش مطلق تخریب و هم شتاب گرفتن آهنگ کاهش مقاومت نیز صورت پذیرد. با این حال، در یک برنامه تحقیقاتی باید افزایش ارزش مطلق را مبنای مهمتری به شمار آورد.

**تحلیل داده ها:** انجام آزمایشهای فیزیکی و شیمیایی متعدد بر روی نمونه های مختلف، در نهایت، دستاوردهای باارزشی در مورد تأثیر لیگنین بر دوام کاغذ خواهد داشت. نتایج به دست آمده می تواند مبنای تدوین معیار برای تعیین دوام کاغذ و میزان مجاز لیگنین در آن قرار گیرد. تحلیل و تفسیر داده ها، گستره بزرگی از اطلاعات را در اختیار قرار می دهد که برای اهداف پژوهشی و کاربردی بسیار مفید خواهند بود.